

PAT-NO: JP361021505A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 61021505 A

TITLE: PROCESS CONTROLLER

PUBN-DATE: January 30, 1986

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HIROI, KAZUO

ITO, KOJIRO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

TOSHIBA CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP59140622

APPL-DATE: July 9, 1984

INT-CL (IPC): G05B013/04, G05B011/32

ABSTRACT:

**PURPOSE:** To minimize a change in a process variable against any external disturbance and to attain simple and easy conventional application by providing a gain scheduling section and a feedforward control model gain adaptive section.

**CONSTITUTION:** The gain scheduling section 33 has a function correcting the gain of a feedback FB control output signal in response to the magnitude of an external disturbance change and relates an external disturbance compensation signal D.K to a coupling coefficient C set in response to a process variable. Then the gain of an FB control output signal is corrected sequentially in a direction corresponding to the load reduction by using a gain correcting coefficient obtained in this way so as to stabilize the control earlier. Further, a feedforward FF control model gain adaptive section 34 compares the FF control output signal with an operating signal MV so as to zero the FB control output signal, the gain of the FF control model is corrected and the optimum control to an unknown external disturbance is executed. Then the change in the process variable is minimized against any external disturbance change and simple and easy conventionality is attained.

COPYRIGHT: (C)1986,JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 昭61-21505

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和61年(1986)1月30日

G 05 B 13/04  
11/32

8225-5H  
F-7740-5H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 プロセス制御装置

⑯ 特 願 昭59-140622

⑰ 出 願 昭59(1984)7月9日

⑱ 発 明 者 広 井 和 男 東京都府中市東芝町1 東京芝浦電気株式会社府中工場内  
⑲ 発 明 者 伊 藤 光 二 郎 東京都府中市東芝町1 東京芝浦電気株式会社府中工場内  
⑳ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 川崎市幸区堀川町72番地  
㉑ 代 理 人 弁 理 士 則 近 憲 佑 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

プロセス制御装置

2. 特許請求の範囲

(1) 設定値とプロセス量とを比較調節演算したフィードバック制御信号を出力するフィードバック制御手段と、外乱を検出しこの外乱をフィードフォワード制御モデルに基づき補償する外乱補償信号を出力するフィードフォワード制御手段と、前記外乱の変化の大きさに応じて前記フィードバック制御信号のゲインを修正するゲインスケジューリング手段と、このゲインスケジューリング手段でゲイン修正されたフィードバック制御信号に前記外乱補償信号を加算合成した操作信号と前記外乱補償信号とを比較し両者を一致させる修正信号を出力して前記フィードフォワード制御モデルのゲインを修正するフィードフォワード制御モデルゲイン適応手段とを備えることを特徴とするプロセス制御装置。

(2) ゲインスケジューリング手段が、外乱の変化の大きさとプロセス量に基づき設定された結合係数とを関連させ算出したゲイン修正係数をフィードバック制御信号に乗算してフィードバック制御信号のゲインを修正していることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載のプロセス制御装置。

(3) フィードフォワード制御モデルゲイン適応手段が、定期的にフィードフォワード制御モデルのゲインを修正していることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載のプロセス制御装置。

(4) フィードフォワード制御モデルゲイン適応手段が、フィードバック制御信号或いは操作信号のゲインの大きさを判定しており、所定レベル以上になつたときフィードフォワード制御モデルのゲインを修正していることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載のプロセス制御装置。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔発明の技術分野〕

この発明は、フィードバック制御とフィードフォワード制御とを最適に組み合わせ、外乱変化に対応して制御系が最適に適応するプロセス制御装置に関する。

## 〔発明の技術的背景とその問題点〕

近年、プロセス制御では負荷変化、環境変化等の外乱にフレキシブルに応答し、これら変化に対し最適に適応し得る適応制御 (adaptive control) の要求が強くなっている。

この適応制御は、その基本条件として(1)外乱が急変状態にあつてもプロセス量の変化は最小限に抑え得ること。(2)プロセスのいずれの動時性変化に対しても最適に対応できること。(3)単純で汎用的構成にあること。が必要になる。

この適応制御として知られている従来の代表例には、(1)セルフ・チューニングレギュレータ (STR)、(2)モデル規範形適応制御 (MRAOS) がある。しかしこれら制御方法は、制御結果、

即ちプロセス量の変化に着目し、同定法や安定理論等の数値的解析に基づき調節計のパラメータを修正するもので、結果を見たフィードバック制御が基本となっており、外乱の影響が直接的に加わってしまう。このため外乱変化、プロセス特性等が特定パターンでゆっくり変化するプロセスにしか適用できず、種々に変化する通常のプロセスにあつては上記3つの基本条件を満足することはなかつた。

以下、このことをSTRの例を用いて説明する。STR方式は、プロセス変数から未知パラメータを同定し、この同定値を用いて調節部のパラメータを修正するもので、その具体的構成を第3図に示す。

図において、設定値1とプロセス量2とが偏差部3に導入され、これら両値の偏差信号が調節部4に供給され、調節部4はこの信号に基づきP(比例)、I(積分)、D(微分)演算等を施し調節出力信号5を得て、これを加算部6に出力する。また、加算部6には、探索信号

発生部7からプロセス特性を探るM系列信号等の探索信号が供給され、この探索信号と前記調節出力信号との加算合成信号を操作信号8としてプロセス9及びプロセス特性同定機構10に出力される。

一方、プロセス9には外乱11が加わり、この影響によつて変動するプロセス量2は前記偏差部3と共にプロセス特性同定機構10にフィードバックされ、プロセス特性同定機構10ではこのプロセス量2と操作信号8とに基づきプロセスの未知パラメータを適当な同定法を用いて逐次推定し、PIDパラメータ決定機構12に出力する。PIDパラメータ決定機構12はこの未知パラメータに基づきPIDパラメータを決定し、これが調節部4に出力され、調節部4のパラメータが更新され、最適制御状態に修正するものである。

このように構成されたSTR方式では次のような工業用適用制御装置としては致命的な欠点がある。

(1) プロセス量2の変化に着目したPIDパラメータの修正であるため外乱の影響を直接受けてしまう。

(2) 前回出力された操作信号によるプロセスの制御結果を見て、プロセス特性を同定しPIDパラメータを修正して新たな操作信号を求めているため、操作信号を前回のプロセス特性に同定させるまでに、プロセスが変動してしまうことが多く同定値と異なる新しい状態に変化し折角のパラメータ修正も無駄になり、かえつてその誤差により制御が乱れてしまう原因になる。

実際の同定では、新たな操作信号を2、3回与え同様の制御結果を得たときに同定を完了させているため、それまでに(プロセスのムダ時間+プロセスの時定数)×3~4倍程度の時間を要してしまう。このため外乱、プロセス特性が任意変動し、且つ急速変化する通常の実プロセスにあつては、その変動に追従できず、ほとんど適応できない。

- (3) 探索信号としては、正負パルスで平均が零となりプロセスに影響を与えないM系列信号等が工夫して加えられているが、その振幅が小さいと調節出力信号5によつて無視され、また大き過ぎると操作端等にショックなどの影響を与えてしまうことになる。
- (4) 同定法の理論は複雑で、定性的、定量的関係を簡単に理解し得るものではない。

#### 〔発明の目的〕

この発明は、上記欠点を除去し、適応制御に要求される基本条件を十分に充足し得るプロセス制御装置を提供するものであり、このために外乱の持つプロセス情報はフィードフォワード制御に最下限に活用し、外乱から得られない情報による影響はその結果として出力されるフィードバック制御の出力信号を最小限にするようにフィードフォワード制御モデルの係数を修正して解決するものである。

#### 〔発明の概要〕

この発明は、上記目的を達成するため、フィ

ードバック制御手段に、外乱の影響を予測し先行制御するフィードフォワード制御手段と、外乱変化の大きさに応じてフィードバック制御の出力信号をゲイン修正するゲインスケジューリング手段と、フィードバック制御の出力信号が零になるようにフィードフォワード制御モデルの係数を自動修正するフィードフォワード制御モデルゲイン適応手段とを有機的に組合せたものである。

#### 〔発明の実施例〕

以下、この発明を図面を参照し一実施例を用いて説明する。第1図は一実施例のプロセス制御装置の機能構成を示すブロック図である。

図において、20は制御対象であるプロセスである。まずこのプロセス20に対するフィードバック制御（以下、FB制御という。）系から説明する。プロセス20から出力されその状態を現わす温度、圧力、流量、レベル、濃度等のプロセス量が制御量としてプロセス量検出器21で検出され、その量に比例した制御信号

PVが偏差部22に出力される。偏差部22はこの制御信号PVと設定値信号SVとの偏差を得て、その制御偏差信号をFB制御調節部23に出力する。FB制御調節部23は制御偏差信号に対しPID又はI-PD演算等を実施し、FB制御出力信号を乗算部24に出力する。乗算部24はこのFB制御出力信号に後述のゲインスケジューリング部33から出力されるゲイン修正係数を乗じて外乱変化の大きさに応じてゲイン修正されたFB制御出力信号を加算部25に出力する。加算部29はこのゲイン修正後のFB制御出力信号に後述のフィードフォワード制御（以下、FF制御という。）系からの外乱補償信号D・Kを加算合成し、操作信号MVを得てこれをプロセス20に出力している。

次に、FF制御系について説明する。プロセス20にはその負荷変動、環境変化等の外乱が加わっており、この外乱変化Dは外乱検出器30で検出され、それに比例した外乱信号DとしてFF制御モデル31に出力される。ここで

FF制御モデルとしては、一般に設定ゲインKによる静的補償のみの場合と、この静的補償に外乱の急激な変化に対する影響をその伝達関数により補償する動的補償を組み合わせた場合とがあるが、本実施例では説明を容易にするために前者を用いて説明するが、後者の場合にもその静的補償部分に対して同様に適用できることは言うまでもない。

そしてFF制御モデル31は外乱信号Dに静的補償ゲインKを乗算し、外乱補償信号D・Kを得て、これを、加算部29、ゲインスケジューリング部33及びFF制御モデルゲイン適応部38に各々出力する。

ゲインスケジューリング部33は、外乱変化の大きさに応じてFB制御出力信号のゲインを修正するもので、例えばプロセス負荷が増加した場合にこの外乱情報を先行検出した外乱補償信号D・Kとプロセス量に合った最適化結合係数とを関連させたゲイン修正係数で先行的にFB制御出力信号のゲインを増加すると共に

り、F B制御出力信号の出力不足による制御のみだれを事前に解決し、制御の安定化を早期に実現するものである。このゲインスケジューリングは折線関数 $\phi$ は数式によつて達成できるが、本実施例のゲインスケジューリング部33では次式のような数式によつて構成されているものとする。

$$Y = 1 + O \left( \frac{FF - X_0}{X_0} \right)$$

ここで上式において、FFはゲインスケジューリング部33の入力信号即ち外乱補償信号D・K、Yはその出力信号即ちゲイン修正係数、OはFF制御とF B制御との結合係数、 $X_0$ はF B制御調節部23のPIDパラメータを決定したときの外乱補償信号の大きさを示している。

この式は結合係数Oをプロセス量の内容等に応じて設定、変更することにより広範囲のプロセスに対して適用し得る構成にある。すなわち

- (1)  $O = 0$  に設定すると  $Y = 1.0$  となり、F B制御出力信号のゲイン修正は実行せず、一般

的なF B制御とF F制御との組み合わせ制御となる。

- (2)  $O = 1.0$  に設定すると  $Y = \frac{FF}{X_0}$  となり、

F F制御出力の大きさに比例してF B制御出力信号のゲイン修正を実行でき、この場合の対象となるプロセス量としては、混合プロセスの温度、濃度であり、これらの制御における最適結合が可能となる。

- (3)  $0 \leq O < 1$  に設定すると  $Y = 1 + O \left( \frac{FF - X_0}{X_0} \right)$   
 $= O \frac{FF}{X_0} + (1 - O)$  となり、F B制御出力信号

のゲイン修正の割合をOの値によつて変更でき、プロセスに応じた最適なゲイン修正が可能となる。この対象となるプロセス量としては、非混合プロセスの圧力、流量、液面等の場合がある。

このようにF B制御出力信号のゲインを外乱によるプロセスに変化に応じて先行的に修正す

るため、変化後のプロセスに合ったレベルの操作信号を出力し得、プロセス変化に追従した制御が実現できるようになる。

また、F F制御モデルゲイン適応部34は、F F制御及びゲインスケジューリングによつても解消しきれない(1)F F制御モデルの予測誤差や(2)未知外乱による影響等を解決するものである。これは、これら誤差や影響により生じるF F制御の不正確さを、F B制御出力信号の増大として把握し、このF B制御出力信号が零となるようにF F制御モデルを修正し、上記誤差や影響に応じたF F制御を実現するものである。即ち、このF F制御モデルゲイン適応部34は、F F制御モデル31の出力信号である外乱補償信号D・Kと、F B制御出力とF F制御出力との合成信号である操作信号MVとを入力し、両信号が等しくなるようなF F制御モデルの修正値を演算し、これをF F制御モデル31に出力してそのゲインを自動修正するものであり、その具体構成の一例としては、特願昭59-19335

号に示すものがある。

このモデルゲインの修正は、プロセス特性に応じ、常時連続的に実行する構成であつても、環境変化に応じた定期的動作であつてもよく後者の場合にはF F制御モデルゲイン適応部38にタイマー回路を設けその出力によつて修正動作を実行するように構成することにより実現できる。またF F制御出力信号又は操作信号にレベル検出器を設け、そのレベルが所定値以上になり、かつその値で安定したときに、F F制御モデルのゲイン修正を実行する構成にしてもよい。

このように、上記誤差や影響の結果として現われるF B制御出力信号を零にするようにF F制御モデルを修正することにより、F F制御、ゲインスケジューリングによつても解消し得ない部分について最適化予測制御が可能となる。次に本実施例の作用について第2図を用いて説明する。

第2図は、本実施例の制御方式の組み合わせ状

題に応じた設定値信号  $SV$  に対するプロセス信号  $PV$  の変化を示したもので、実線は  $FB$  制御のみの場合、点線はゲインスケジューリングを付加した  $FB$  制御の場合、一点鎖線は前記点線の場合に  $FF$  制御を付加した場合、二点鎖線は前記一点鎖線に  $FF$  制御モデルゲイン修正を付加した最適化適応制御の場合を示したものである。

まず、実線として示す  $FB$  制御のみ場合を用いて、プロセス2及び  $FB$  制御系の動作を説明する。プロセス2に対して外乱、例えば負荷減少が加わつたとすると、そこから出力されるプロセス量  $PV$  は増大し、この増大を受けプロセス量  $PV$  を設定値  $SV$  に等しくするように、偏差部22から出力される制御偏差信号に基づき  $FB$  制御調節部23で  $PID$  演算した  $FB$  制御出力信号が操作信号  $MV$  としてプロセス20に出力される。しかし、この  $FB$  制御のみでは、プロセス量  $PV$  の変化を受け直接的に修正操作を加えているため、過剰制御となりプロセス量

の変動が持続し、外乱に対して制御が安定するまでに長時間必要となる。

そこで、この  $FB$  制御に対し、その制御信号のゲインを外乱変化の大きさに応じて先行的に修正するゲインスケジューリング部33を付加し、このゲインスケジューリング部33が外乱補償信号  $D \cdot K$  とプロセス量に応じ設定される結合係数  $C$  とを関連させ、得られるゲイン修正係数で  $FB$  制御出力信号のゲインを負荷減少に対応した方向に逐次修正し、点線として示す如く制御の早期安定化を図っている。

しかし、このような  $FB$  制御では、外乱に対する対応力、制御性が悪く、プロセス量の変動が大きくなつてしまいエネルギー損が多いため、これらの影響を先行的に補償する  $FF$  制御が必要となる。この  $FF$  制御では、外乱検出器30が負荷減少を検出すると、この外乱信号に対してこれを補償する設定ゲイン  $K$  を乗算した外乱補償信号  $D \cdot K$  を  $FB$  制御出力信号に加元一点鎖線に示す如く制御性を大幅に向上させている。

この  $FF$  制御とゲインスケジューリング機能付の  $FB$  制御によつて通常の予知し得る外乱に対しては制御の最適化が実現し得るが、長期間使用による設定ゲインの誤差や環境変化等の予知できぬ外乱の影響を受け、制御モデルの設定ゲインに若干のずれが生じ、 $FF$  制御性が劣化し、その結果として  $FB$  制御出力が増大することになる。

このため  $FF$  制御モデルゲイン適応部34を設け、上記誤差や影響に合つた  $FF$  制御を実現すべくこれらの影響が現われる  $FB$  制御出力信号を零にするように  $FF$  制御出力信号と操作信号  $MV$  とを比較して  $FF$  制御モデルのゲインを修正し、未知の外乱に対する最適制御を実行している。

このように、 $FB$  制御に、そのゲインスケジューリング、 $FF$  制御、その制御モデルゲイン自動修正の機能を有機的に組み合わせることにより、次のような効果を発揮する。

(1) プロセス外乱のいかなる変化に対してもそ

の対応力が強く、制御性も極限まで高めることが可能となる。

例えば、流量制御にあつては外乱急変によるプロセス動特性の変化に対しても即応し得、また温度制御のような周囲温度の昼夜変化、季節変化等の長期的に変化する場合でも最適化可能となり、いずれの場合にあつてもプロセス量の変化は最小限に抑制し得る。

これにより製品品質の大幅向上、省エネ、省資源の実現が可能となる。

(2) 難解な数学的理論を必要としない単純な構成で、所定の値を変更することにより、いかなるプロセスにも汎用的に適用し得、フレキシブルプロダクションへの対応が実現できる。

(3) 複雑で余分な探索信号を付加しておらず、操作端等へのショック要因を除去し得、プロセス信頼性の大幅に向上できる。

なお以上説明した一実施例では、 $FB$  制御、 $FF$  制御、ゲインスケジューリング、 $FF$  制御モデルゲイン適応の機能を各々実現するハード

構成の例を用いて説明したが、本発明ではこれら機能をコンピュータソフトウェアによつて達成することも可能である。

また各機能における演算処理も、位置形信号を用いて実現しても、位置形信号と速度形信号とを混合してもよい。

さらに一実施例ではゲインスケジューリング部33は外乱補償信号 $D \cdot K$ に基づき演算処理していたが、外乱信号 $D$ であつても同様の効果は得られ、このように本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形できることは言うまでもない。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によればかかる外乱変化に対してもプロセス量の変化を最小限に抑制でき、制御性を極限まで向上させた最適化適応制御が実現し得、かつ単純で容易に汎用化が可能となるプロセス制御装置を提供することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

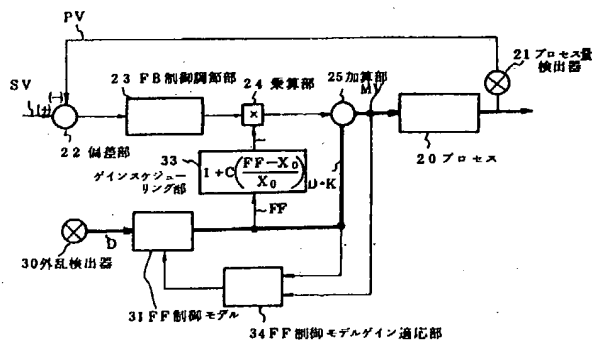
第1図は本発明の一実施例の構成を示す機能ブロック図、第2図は本発明の一実施例の作用を説明するための波形図、第3図は本発明の従来例の構成を示す機能ブロック図である。

- |    |       |                          |
|----|-------|--------------------------|
| 20 | ..... | プロセス                     |
| 21 | ..... | プロセス量検出器                 |
| 22 | ..... | 偏差部                      |
| 23 | ..... | フィードバック制御調節部             |
| 24 | ..... | 乗算部                      |
| 25 | ..... | 加算部                      |
| 30 | ..... | 外乱検出器                    |
| 31 | ..... | フィードフォワード制御モデル           |
| 33 | ..... | ゲインスケジューリング部             |
| 34 | ..... | フィードフォワード制御モデル<br>ゲイン適応部 |

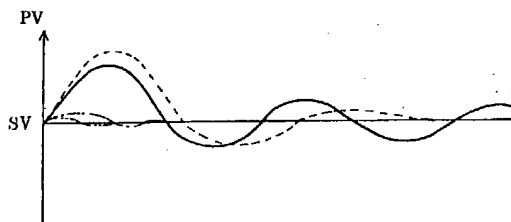
代理人 弁理士 則 近 憲 佑

(ほか一名)

第 1 図



第 2 図



第 3 図

